

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 06003711 A

(43) Date of publication of application: 14.01.94

(51) Int. Cl

G02F 1/35

(21) Application number: 04185803

(71) Applicant: CANON INC

(22) Date of filing: 19.06.92

(72) Inventor: YOHAN BERIKUISUTO  
TOMITA YASUO

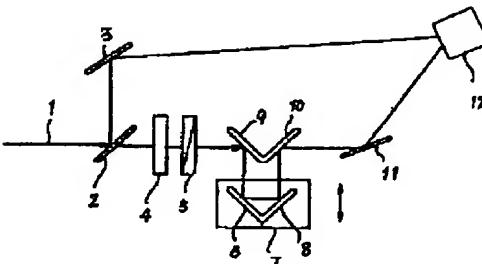
(54) OPTICAL PULSE SHAPING DEVICE AND  
METHOD

(57) Abstract:

PURPOSE: To obtain the device and method which optically shape light pulses.

CONSTITUTION: Plural coherent light beams are formed by a laser beam source or beam splitter 2, etc., and one of the plural light beams 1 is variably delayed by a movable reforeflector 7, etc. The intensity ratios of the plural light beams are adjusted by a half wavelength plate 4, polarizer 5, etc., and the plural light beams are coupled by a nonlinear type crystal 12, such as GaAs, at mirrors 3, 11, etc. The light beams are coupled by the nonlinear type crystal 12 and interference patterns are formed there. The transmission and reception of the energy are executed between the light beams by the transient energy migration utilizing self-diffraction, etc., by which the shaping of the pulses is executed.

COPYRIGHT: (C)1994,JPO&Japio



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-3711

(43)公開日 平成6年(1994)1月14日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

G 0 2 F 1/35

識別記号

府内整理番号

8106-2K

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 9(全 11 頁)

(21)出願番号 特願平4-185803

(22)出願日 平成4年(1992)6月19日

(71)出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72)発明者 ヨハン ベリクイスト

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ  
ノン株式会社内

(72)発明者 富田 康生

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ  
ノン株式会社内

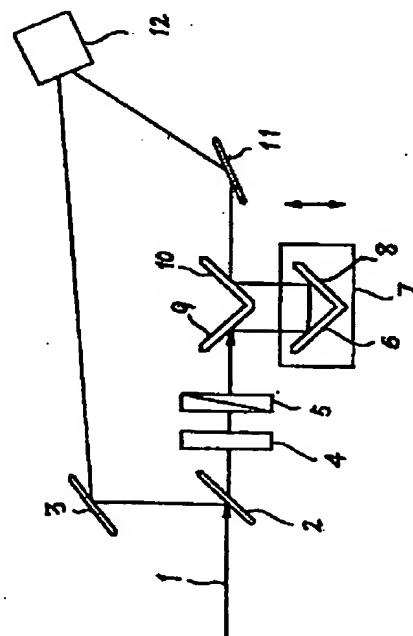
(74)代理人 弁理士 加藤 一男

(54)【発明の名称】 光学的パルス整形装置及び方法

(57)【要約】

【目的】光パルスを純光学的に整形する装置及び方法である。

【構成】レーザ光源やビームスプリッター2などで複数のコヒーレントな光ビームを形成し、可動なレトロフレクター7などで複数の光ビームの1つを可変に遅延させ、半波長板4や偏光子5などで複数の光ビームの強度比を調整し、ミラー3、11などでGaAsなどの非線型結晶12で複数の光ビームを結合する。光ビームが非線型結晶12で結合されてそこに干渉パターンが形成され、自己回折などを利用した過渡的エネルギー移行により、光ビーム間でエネルギーの授受が行なわれてパルスの整形が行なわれる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】複数のコヒーレントな光ビームを形成する為の手段、複数の光ビームの1つを可変に遅延させる為の可変遅延手段、複数の光ビームの強度比を調整する為の手段、非線形結晶、該非線形結晶で複数の光ビームを結合する為の手段を有することを特徴とする光学的パルス整形装置。

【請求項2】前記光ビーム形成手段はレーザ光源からの光を所定の分割比で光分割する光分割手段であり、前記可変遅延手段は分割光の1つを遅延させる為の可変遅延手段であり、前記強度比調整手段は分割光の1つを減衰する為の半波長板を有する減衰器であり、前記光ビーム結合手段は前記非線形結晶で2つの分割光を結合する為の2つのミラーを有することを特徴とする請求項1記載の光学的パルス整形装置。

【請求項3】超短パルスの幅を該パルス自身をチャーピングしないで短縮することを特徴とする請求項1記載の光学的パルス整形装置。

【請求項4】前記非線形結晶はGaAs結晶であることを特徴とする請求項1記載の光学的パルス整形装置。

【請求項5】前記非線形結晶における非線形光学効果である過渡的エネルギー結合を用いてパルス整形が行われることを特徴とする請求項1記載の光学的パルス整形装置。

【請求項6】複数のコヒーレントな光ビームを形成し、複数の光ビームの1つを可変に遅延させ、複数の光ビームの強度比を調整し、非線形結晶で複数の光ビームを結合することで光パルスを純光学的に整形することを特徴とする光学的パルス整形方法。

【請求項7】超短パルスの幅を該パルス自身をチャーピングしないで短縮することを特徴とする請求項6記載の光学的パルス整形方法。

【請求項8】前記非線形結晶はGaAs結晶であることを特徴とする請求項6記載の光学的パルス整形方法。

【請求項9】前記非線形結晶における非線形光学効果である過渡的エネルギー結合を用いてパルス整形が行われることを特徴とする請求項6記載の光学的パルス整形方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光通信などの分野で好適に用いられる超短パルス整形装置及び方法などの技術分野の装置及び方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来、光学的な短パルスを形成するのに用いられてきた方法としては、以下で述べるチャーピングを導入し、分散性媒体中をパルスが伝搬する様にしてパルスを圧縮するものが主なものであった。チャーピングパルスとは、例えば、その先頭部の光周波数がその末尾部の周波数より大きい（負チャーピング）様に光周波数が時間に依

存して変化しているパルスである。同様に、末尾部（図9の符号103）が先頭部（図9の符号102）に対してブルーシフトしているパルスは、正のチャーピングパルスと呼ばれる。光周波数の時間依存性が線形である時、パルスは線形にチャーピングしていると言う（図9の符号104の部分）。ここで、図9は、自己位相変調（SPM）のみを用いた時の最初のパルス101（図9の左側）とチャーピング（図9の中央）と圧縮後のパルス105（図9の右側）を示す。図中、 $T_0$ は、 $T_0 = FWHM/2 (2\ln 2)^{1/2}$ の関係から計算される（FWHMはパルスの最大値の半分のところの全幅である）。 $\omega_0$ はパルス101の中心での周波数であり、 $\omega$ は光の角周波数である。SPM（自己位相変調）のみでは理想的な線形チャーピングが起こらず（図9の中央に示す様に部分的にしか線形でない）、よって、パルス圧縮後のパルス105の質が、サイドローブのある図9の一番右側に示される様に低下することが分かる（これについては、Govind P. Agrawal: Nonlinear Fibre Optics, Academic Press, London 1989を参照）。

【0003】光パルスのチャーピングは、SPMを、群速度分散（GVD）と共に又は共でなく利用することで、ファイバ中でパルスに導入される。正常（normal）GVDは、低い周波数成分が高い周波数成分より早く伝搬する様にさせ、従って、パルスの光周波数は、先頭パルス端の低い値から末尾端の高い値へと変化する様になり、こうしてファイバ中でパルスにチャーピングが生じる。

【0004】以下で述べる様に、線形チャーピングパルスは望ましいものであるが、SPMのみでは、図9で説明した様にパルスの中央部104でしか線形チャーピングは起こらない。この困難を解決する為に、SPMをGVDと結合して利用するのが良い。SPMは、屈折率に対する光強度の影響（例えば、屈折率の変化が光強度の平方に比例するカーポイント）を通して導入される。

【0005】ここで、有限の時間導関数値を持つ光パルス（例えば、ガウス分布形のパルス）を考えると、光強度は有限時間に亘って変化し、この時、もし強度が十分大きければ、カーポイントによってパルスの強度変化に対応して屈折率が変化させられる。この様なパルスの先頭部は、末尾部よりも小さなカーポイントによる屈折率変化しか起こさず、よって、先頭部に対応する屈折率で速く伝搬する成分は速く進み、同様に、遅い速度で伝搬する周波数成分は遅れて末尾部に来ることになる。この効果により、GVDと結び付いて、ほぼ線形なチャーピングパルス（図10の符号202）が生み出される。これは、SPMのみに基づいたチャーピング（図9の符号102～104）と対照的である。ここで、図10は、自己位相変調と群速度分散間の相互作用を利用した場合においてファイバを伝搬した後のパルス201とパルスチャーピング202と圧縮後のパルス203を示す。ほぼ線形なチャーピ

202の為に、圧縮後のパルス203はサイドロープが無く高品質なものである。よって、エネルギーは、図9の場合と比べてずっと小さくなる。符号の意味は図9と同じである（同じく Govind P. Agrawal の文献を参照）。

【0006】さて、一旦チャープが生じると、パルスは媒体中を、チャープ導関数の符号に応じて、正常又は異常（anomalous）GVDを伴って伝搬する。以上、要するに、チャープパルスの先頭部が末尾部よりも遅い速度で伝搬する様にでき、従って、適正化された条件では、先頭部と末尾部が同時に到着してパルスが圧縮されることになる（図9の符号105及び図10の符号203参照）。

【0007】ところで、殆どの媒体のGVD（群速度分散）は周波数に対して線形に依存し、正常（即ち  $\partial n / \partial \lambda > 0$ （ $\lambda$ は波長））であるので、適正な様でパルスの末尾部に対して先頭部を遅らせる為には、負で線形にチャープしたパルスを用いる必要がある。しかし、グレーティングペア（ファイバからのパルスを一対のグレーティングに入れる）を用いるか或はファイバの異常分散領域（ $\partial n / \partial \lambda$ になっている）で作用させることで、正にチャープしたパルスを圧縮することも出来る。

【0008】パルスが正しく線形にチャープしていない時は（図9の符号102、103参照）、非線形にチャープした時間領域はパルスの圧縮には寄与せず、よって、出力パルスは適正に圧縮されず且つエネルギーも大きくなつて品質が低下する（図9の符号105参照）。

【0009】パルス圧縮を得る他の方法は、ファイバのソリトン効果を利用する事である。これを達成するには、異常群速度分散（ $\partial n / \partial \lambda < 0$ ）が生じる波長で作用させねばならず、これは、シリカファイバでは1.32 μmより長い波長領域に対応する。異常GVDとSPMの間で相互に作用しあって、ソリトン（孤立波）は伝搬でき、そしてファイバの長さが慎重に選ばれていれば、これらの波長のパルスを効果的に圧縮できる。

【0010】一方、上記の方法は正常なGVD及び/又はSPMに頼っているので、1.32 μmより短い波長のパルスが圧縮できる。よって、これら2つの方法（正常GVD/SPM方式とソリトン方式）は互いに相補い合う関係にある。

【0011】両方法において、特定の入力パワーと波長に対して、ファイバ長を適当に設定することによりパルス圧縮が適正化される。即ち、裏を返して言えば、他の波長やパワーレベルに対しては、システムは適正な様でパルス圧縮作用を行なわない。また、ソリトン効果の方法が取られる時は、正常GVD/SPMの方法と比較して、必要とされる入力光パワーレベルは相当大きくなる。もし、パワーが大きければ、ソリトンナンバーが増えそして圧縮比（即ち、入力と出力の幅の比）も大きくなる。

なる。しかし、或るレベルでは、パワーはラマン散乱を誘導する様なものになり、必然的にパワーロスを増大することになる。更に、散乱ラマン波と初めのパルスとの間の相互位相変調により、望ましくないパルス変形が生じることもある。勿論、ソリトン方式は正常GVD/SPMの方法（ファイバーグレーティング方式）よりずっと簡素であるが、或る場合にはファイバの長さが数キロメートルも要求されることになって、全く実用に向かないと言う問題もある。

【0012】一方、グレーティングペアとファイバを用いる方式にも困難がある。先ず、格子効率がパワーロスに対して大きく影響することである。典型的にはロスレベルは20~40%である。次に、長いパルス（即ち、 $> 10 \text{ ps}$ ）では2つのグレーティング間の間隔が問題となる。パルスの異なる周波数成分間に十分な遅延を生じさせる為には、10 ps以上長いパルスに対してグレーティング間の距離は10 m以上となり、非実用的となる。また、グレーティングペアは時間分散のみでなく空間分散も誘起させる。これは、空間分散が大きくなる大きなグレーティングペア間隔の時に特に問題となる。この問題は、パルスにグレーティングペアを2度伝搬させ（同じパスを往復させる。ダブルパス）その後ミラーで偏向させることで解決される。しかし、グレーティングロスは依然としてあり、この解決法を用いると4倍になる。

【0013】グレーティングペアの代わりに2つのプリズムも用いてもよい。これでロスはほぼ2%に減少できるが、このシステムは、多くのプリズムの分散は小さいので、大きくなりがちであり、特に長い波長の時はそうなる。

【0014】この様に、チャープを誘起するのにSPMのみを用いると、上で述べた様に（図9の符号105）出力パルス品質に多大な悪影響を与える。これを解決するのにGVD（群速度分散）をも利用しても、パルス圧縮比はどうしても劣化する。よって、大パルス圧縮比と高いパルス品質/パルスエネルギー保存との間にはトレードオフの関係がある。

【0015】もしチャープを誘起するファイバに入る前に圧縮されるべきパルスがチャープされていると、この最初のチャープを保証する為に長いファイバを用いる必要がある場合がある。これは、勿論、最初のチャープの符号に依る。この初期チャープに起因して短いファイバしか必要とされない場合もある。しかし、この適正化されたファイバ長は入力パルスの所定初期チャープで適正に働くのみで、この長さは初期チャープが変化すると調整を要する。

【0016】ファイバーグレーティング方式及びソリトンに基づいたシステムの両方の最大の欠点は、パルスがチャープされなければならないことである。コヒーレンスと単色性が必須であつて重要な場合は、チャープされ

たパルスは決定的に望ましくない。この様な中で最も悪影響を受ける場合として、実時間ホログラフィーや光励起屈折率材料（光励起屈折率効果（photorefractive effect）を持つ材料）にグレーティングを書き込むことがある。これらは、高いコントラストのパターンが書かれることを利用するからである。これは、長いコヒーレンス長と高い単色性（即ち、チャーブの無いパルス）を必要とする。この場合は、より短いパルスの利用をもくろんでいるので、チャーブの無い短いパルスに対する要求が強く、特に、GaAsの如き材料が重要となるps（ピコセカンド）程度のパルスを用いる場合にそうである。

#### 【0017】

【発明が解決しようとする課題】よって、本発明の目的は、上記の課題に鑑み、チャーブなどに関する問題点を解決し、調整が容易で構造も簡単な光学的パルス整形装置及び方法を提供することにある。

#### 【0018】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成する本発明による光学的パルス整形装置においては、複数のコヒーレントな光ビームを形成する為の手段、複数の光ビームの1つを可変に遅延させる為の可変遅延手段、複数の光ビームの強度比を調整する為の手段、非線形結晶、該非線形結晶で複数の光ビームを結合する為の手段を有することを特徴とする。

【0019】また、上記目的を達成する本発明による光学的パルス整形方法においては、複数のコヒーレントな光ビームを形成し、複数の光ビームの1つを可変に遅延させ、複数の光ビームの強度比を調整し、非線形結晶で複数の光ビームを結合することで光パルスを純光学的に整形することを特徴とする。

【0020】より具体的には、前記光ビーム形成手段はレーザ光源からの光を所定の分割比で光分割する光分割手段であり、前記可変遅延手段は分割光の1つを遅延させる為の可変遅延手段であり、前記強度比調整手段は分割光の1つを減衰する為の半波長板を有する減衰器であり、前記光ビーム結合手段は前記非線形結晶で2つの分割光を結合する為の2つのミラーを有したり、超短パルスの幅を該パルス自身をチャーピングしないで短縮したり、前記非線形結晶はGaAs結晶であったり、前記非線形結晶における非線形光学効果である過渡的エネルギー結合を用いてパルス整形が行われたりする。

【0021】上記構成を有する本発明のデバイスは上記の問題点を解決したものであり、特にps領域のパルスの場合に効果を発揮する。若干具体的な例に沿って、その特徴を説明する。

【0022】比較的長いパルスでは、従来の短パルス整形装置では非常に装置が大きくなってしまう。既に述べた様に、パルスパワー入力と波長に関して、ファイバ長を常に適正化して適度なものとすることは困難である。

これに対して、後で述べる様に、本発明の考え方は、パルスを上記従来例の様に圧縮するのではなくその一部をカットすることでパルス整形する原理に基づいて動作するGaAsなどのデバイスを基礎にしている。このカッティングは、1つの強いパルス（即ち、整形されるパルス）と同じパルスから取り出されたコヒーレントな弱いパルスとの間で過渡的にエネルギー移行（TET）が行なわれることに基づく。一方のパルスを他方のパルスに対して遅延させることでTETプロセスが適正化される。【0023】他の重要なパラメーターは、2つのビームにより非線形結晶に書かれた屈折率グレーティングの周期と2つのパルス間の強度比ないしエネルギー比である。グレーティングの周期は、ビーム間の交差角及び波長に依存している。よって、適正化されたグレーティングの周期に対して、波長が変化する時、ビーム間の角度の調整により作用の適正化を行なう。これは、従来のグレーティングファイバ方式のパルス圧縮装置の様にファイバの長さを変えるものより、実用的で信頼できる方式である。

【0024】更に、上で述べた様に、従来の短パルス形成装置は、2つの異なる波長領域で働く2つのカテゴリーのものに分けられて、両方の波長領域で何れのものも働かせることは出来ない。本発明のデバイスはこうした制限を持たない。波長に関する唯一の制限は、これが、図2に示す非線形結晶の価電子帯と伝導帯のバンドギャップのほぼ半分（いわゆるGaAsのEL2レベル23）とこのバンドギャップとの間の値を持つエネルギーに相当するものでなくてはならないことである。また、波長は大きく吸収される様なものであってもならない。GaAsパルクにおいて、これらのエネルギーレベルに相当する波長領域はほぼ800nmから1.7μmである。ここでは、EL2レベル23はほぼ0.7eVとしている。ここで、図2について説明すると、これはGaAsのバンド構造ダイアグラムを示す。深いEL2レベル23は伝導帯29と価電子帯21間のバンドギャップに見出される。入射光26がEL2不純物をイオン化して、電子25とホール24が生じる。十分なフォトン注入の後、バンド29、21はキャリア27、22で満たされる。これらの自由キャリアは次に入射光で励起される（符号28）。光の空間的変化パターンが、キャリア密度と励起キャリア密度の同様な空間的変化パターンを生み出す。

【0025】本発明では、異なるパワーレベル又は波長のパルスの整形プロセスを適正化する場合の問題点は、ビーム角度及び／又はパルスエネルギー比を調整することで解決される。これは、グレーティングファイバ方式のパルス圧縮装置と比較してより簡単に実現できる方式である。

【0026】次に、10psより長いパルスに関して、本発明のデバイスはサイズが小さくできて大きな利点を

有する。GaAsなどの結晶のみでは数mmの幅であり、外部光学手段はかなり小さなサイズの中にまとめられる。グレーティングーファイバ方式では、グレーティング間の距離が10m以上にもなるのと対照的である。プリズムで置き換えた方式に対しても、本発明のこの利点は明らかである。1μm以上の波長では、分散は小さく、プリズムを用いることの利点はかなり減少する。更に、本発明ではグレーティングペアを用いないので、ビームの発散という問題も起こらない。

【0027】高コントラストの干渉パターンを書く必要のある適用例では、パルスのチャーブは最も大きな問題となるが、本発明はチャーブを全く要求しないのでこの点は問題とならない。即ち、本発明のデバイスは高コントラストの干渉パターンの性質を用いるので、ここでは、入力パルスがチャーブしていると寧ろ好ましくない。

【0028】ただし、本発明の欠点はエネルギーロスが避けられないことである。しかし、ダブルパスのグレーティングペアーファイバ方式のものと比べればロスは少ない。高圧縮比と低ロスを特徴とするが、ずっと高いパルスエネルギーを必要とし、1.32μmより長い波長でのみ働くソリトン方式のものとは比較できない。本発明のデバイスは、0.8mJ/cm<sup>2</sup>の流れ（フルエンス）でしかない強い方のパルスのエネルギー移行は25%にもなる。これより、必要パワーレベルはラマン散乱を起こす程高くないことが分かるので、このラマン散乱の問題もない。

【0029】本発明は、干渉パターン作用に依存しているので、従来例のところで触れた初期チャーブパルスはここでも問題となる。しかし、チャーブしたパルスは、チャーブのないパルスを要求する適用例にこれを用いる時、何らかの方法でチャーブ除去を行なえばよい。チャーブ除去は好ましくはパルス圧縮ないしカッティングの前に行なわれ、その時に本発明デバイスは満足行く様に働く。

### 【0030】

【実施例】以下、本発明を具体的な例に沿って説明する。図1において、パルス整形（即ち、圧縮及び／又は拡張など）を受ける入力パルス1がビームスプリッタ2に入射する。ここで同じ強度で分割された2つのビームは、次に、ミラー3、11で再び一緒にされバルクGaAs結晶12に入る。2つのビーム間の相対的遅延は、距離を適当に設定することで可変光学的遅延ライン6～10で調整され、それと共に相対的強度比は半波長板4と偏光子5で制御される（半波長板4と偏光子5のタンドム結合を通る減衰ビームが正又は負に遅延されたりする）。更に、再結合されるビーム間の角度は、可動ミラー3、11とGaAs結晶12が載っている可動ステージ（不図示）により調整される。

### 【0031】

即ち、このデバイスの構造は、入力光1の

伝搬方向に対して45°の方向を向いたビームスプリッタ、半波長板4、偏光子5、入力光伝搬方向に対して-45°の方向を向いたミラー9、ミラー9に平行そして垂直な2つの互いに垂直なミラー6、8から成る可動レトロフレクター7、入力光伝搬方向に対して45°の方向を向いたミラー10、紙面に垂直な軸の回りに回転自在な2つのミラー11、3、ステージによって位置調整可能なGaAs結晶12から成る。

【0032】GaAs結晶12の部分を拡大して示す図3において、同じ光源からの再結合光32、33（弱い方のプローブビーム32と強い方のポンプビーム33）は共にコヒーレントで同じ波長であるのでGaAs結晶12中で強度干渉パターンを形成する。干渉パターン35は、2つのビーム32、33の2等分線に垂直で2つの交差ビームで形成される面に平行な格子ベクトルk34により記述される。結晶12は、結晶軸37が格子ベクトルk34に平行になる様な方向に配向されている。干渉パターン35の周期Λ（即ち、2つの連続する強度の極大値間の物理的距離）は、次の式により格子ベクトルkに関係づけられている。

### 【0033】

$$k = 2\pi/\Lambda \quad (1)$$

光がGaAs結晶12に入射する時、図2のところで説明した様に深いエネルギーレベル（EL2）23の励起が起こる。図2は、価電子帯端21からほぼ0.7eVのところに位置するEL2の深いレベル23を含むGaAs12のバンド構造を示す。これらの深いレベル23は、Ga原子がAsサイトを占めたりその逆であるGaAs結晶格子中のアンチサイト欠陥に起因すると考えられる。これらのレベルは、励起される時にフォトキャリア24、25を生み出すので重要な役割を果す。これらのキャリアの発生レートは入射光26の強度に依存し、よって、強度のピーク辺りでは自由キャリアが多く発生する。更に、これらのキャリアは伝導帯で再励起される（符号28）。これら2つのプロセスの空間位相と周期は強度干渉パターンと同じである。

【0034】キャリア25の数が十分多くなると、伝導帯29はいわゆる電子のバンドフィーリング効果を受ける。バンドフィーリングとバンド電子の励起により、干渉パターン、電子密度及び励起バンド電子密度と同じ空間位相を持つ屈折率の変化が生じる。この時の屈折率は周期的に変調されているので、屈折率格子が生じる。ここで形成される格子がビームを或る程度偏向することが、ビームカッピングの原理となる。入力光33から生じる回折ビームは、こうした光誘起格子の為に入力光32の透過ビーム39に加わる。即ち、1つのビーム33から他のビーム32にエネルギー移行が生じ、ポンプビーム33は結晶12を通過した後に小さい強度を持つ様になり、プローブビーム32は増幅される。

### 【0035】

しかし、干渉パターン35と同じ空間位相

を持つ屈折率格子は2つの書き込みビーム間でエネルギー移行を生じさせないことは良く知られている (Valley, G. C., IEEE J. of Quantum Electronics vol. 24, No. 2, 1988 p. 304を参照)。更に、過渡的エネルギー移行は常に強いビーム33から弱い方32へと起こる。これは、光誘起屈折率効果により誘起される格子と対照的である。ここでは、励起キャリアが、光強度とキャリア密度が低い領域へと拡散する。走行後、これらのキャリアはトラップされて電界を形成し、電気光学的効果により屈折率を変化させる。この結果、この格子は、キャリア走行とトラッピングの為、空間位相が干渉パターンである強度格子と $\pi/2$ だけずれている。次に、この位相差により2つのビーム32、33間のエネルギー移行が生じる。

【0036】しかし、残念ながら、このメカニズムは拡散とトラッピング時間によりかなり遅くなり、超高速エネルギー移行には向かない。更に、移行エネルギー量が、自由キャリアとバンドフィーリング効果により形成される格子による過渡的エネルギー移行に比較してずっと低い。しかし、光誘起屈折率効果によるエネルギー移行は小さい入力ビーム強度で済むことと、定常状態の場合でも利用できることが2つの利点である。

【0037】ここで、定常状態エネルギー移行で必要条件となる位相差が干渉パターンである強度格子と自由キャリア格子／バンドフィーリング格子間に無くとも、本発明ではエネルギー移行がいかに起きるかを述べる。このエネルギー移行の種類は、連続(cw)照射では起きないので、過渡的効果と言う。理由は以下の通りである。

【0038】図4において、2つの書き込みビーム42、43が結晶41に入射する時、干渉パターンは、2つの交差ビーム間の位相差が同じである線44に平行である。最初、バンドフィーリング効果と自由キャリア格子が、強度干渉パターンと同じ線に沿って同空間位相を持つ屈折率格子を生じさせる。即ち、干渉パターンと屈折率格子間の空間位相差がゼロでありエネルギー移行が起きない。しかし、一旦屈折率格子が作られると、光子は全く慣性を持たないので、ビームは即座に回折される(自己回折)。これが起きる時、ビーム42、43間の位相カッピングが起き、こうしてビームが最初に作られた屈折率格子で回折されるので強度干渉縞の同空間位相線がシフトする(符号45)。

【0039】この際、干渉パターンが空間的に変化する時、キャリア格子もシフトする。しかし、自由キャリア格子とバンドフィーリング効果により誘起される屈折率格子の空間変化はこれらの粒子の慣性によりいくらか遅延する。この結果、干渉パターンと屈折率格子間の位相差が生じる。しばらく後(GaAsでは数十psである

る)、最初に誘起されたキャリアが拡散しそしてキャリア格子が再び干渉パターンと同じ空間位相を持つ様になり、エネルギー移行が起きない。しかし、最初の過渡的段階において干渉パターン空間位相が屈折率格子位相と異なる時、パルス間のエネルギー移行が過渡的態様で起きる。

【0040】上記Valleyら (Valley, G. C., IEEE J. of Quantum Electronics vol. 24, No. 2, 1988 p. 304) により議論されている様に、GaAs中のピコセカンドエネルギー移行は、光誘起屈折率効果(低い強度で起こる)と最初の変位していないキャリアによる過渡的エネルギー移行(TET)(強い強度で起こる)の結合で起こる。psオーダーのレスポンスであること及びTETで予想される移行エネルギー量が大きいことにより、この現象を強い(又は弱い)パルスから弱い(又は強い)パルスへのエネルギー移行(パルス切断及び/又は拡張)に利用することができる。これには、光誘起屈折率効果を利用することでも可能であるが、レスポンスタイムはずっと遅く純正な移行エネルギーは相当小さい。

【0041】TETの理論的取り扱いは、最初、Vineteskijら (Vineteskij, V. L., Sov. J. Quantum Electronics vol. 7, No. 2, 1977 p. 230) により詳細に行なわれた。この理論は、伝搬波に関するマックスウェルの方程式と光励起されたキャリアの運動方程式を結合して行なわれている。伝搬波が媒体の非線形屈折率を生じさせ、これで波が伝搬中に互いに結合する。非線形屈折率の時間依存は、入ってくる光波で光キャリアが生じさせられる速さ、キャリアの再結合時間、キャリアの濃度傾斜による拡散、拡散キャリアから生じる空間電荷電界で起こる補償的ドリフトで決定される。連続光照射に対して、このプロセスは、発生、再結合、ドリフト、拡散が平衡状態となる定常状態に到達する。しかし、過渡的エネルギー移行の場合、この方程式は電場の方程式と共に解かれねばならない。

【0042】時間に依存した誘電率を含むマックスウェル方程式は光電場の展開を記述し、干渉パターンを形成する2つのビームの電場を含む。方程式の摂動解は、光電場の解がベキ級数とすることで到達される。電場を2つのベキ級数に書き直すことで(1つは光強度、1つは光電場の位相のものである)、2つのビーム間の過渡的エネルギー移行の解が得られる。TETは、ベキ級数の2次項から最低次項までにおいて現われる。従って、本発明では、2次項の表現を、過渡的エネルギー移行によってパルス整形される光パルスに適用する様にした。

【0043】強度と位相に対する2つの方程式の解は夫々、

$$I_{1;-1} = I(0) - I(1) + I(2) - I(3) + \dots \quad (2)$$

$$\phi = \phi(0) + \phi(1) + \dots \quad (3)$$

指数1、-1は強いビームと弱いビームを表す。【0044】過渡的強度変化は2次項で記述される。こ

$$\begin{aligned}\phi(1) &= \Delta z \left[ (I(0) - 1/2 I(0) - 1) 1/2 - (I(0) - 1/2 I(0) - 1) 1/2 \right] \int_0^t \\ &\quad t (I(0) - 1/2 I(0) - 1) 1/2 \exp \left[ (t' - t) / \tau \right] dt' \quad (4) \\ \phi(2)_{1;-1} &= \pm 2 \Delta (I(0) - 1/2 \int_0^t I(0) - 1 (t)) 1/2 \int_0^t t dt' \int_0^t \\ &\quad z dz (\phi(1)(t') - \phi(1)(t)) \exp \left[ (t - t') / \tau \right] (I(0) - 1) \\ &\quad (t') I(0) - 1 (t') 1/2 \quad (5)\end{aligned}$$

ここで、 $\Delta$ 、 $z$ 、 $\tau$ 、 $\phi(1)$ 、 $I(2)$ は、夫々、撮動パラメーター、伝搬方向の座標、格子緩和時間、位相ベキ数展開の1次項、強度の2次項である。撮動パラメーターは励起係数 $\beta$ と定義 $\Delta \equiv b_0 \beta > 0$ によって関係づけられている ( $b_0 = k_0^2 / 2k_z$  であり、 $k_0$ 、 $k_z$  は入射光の波数ベクトル、格子ベクトルに垂直な波数ベクトル成分である。上記 V. In et al. (1989) の文献参照)。上記2つの方程式を結合することで、任意のパルス形状に対する過渡的エネルギー移行の解  $I_{1+1;-1}$  が得られる。これは、パラメーターの種々の値に対して計算された。

【0045】これまで述べたモデルと計算経過を証明する為に、コンピューター計算値と実験値とエチルアルコールの熱格子に対する過去の計算データ (上記 V. In et al. (1989) の文献参照) の比較をする。格子緩和時間  $\tau$  は  $6.2 \mu s$  であり強度は  $1.5 \times 10^8 W \cdot m^{-2}$  ( $5.3 \times 10^{26}$  光子  $m^{-2} s^{-1}$  に対応する) であった。この文献で行なわれた様に、作用長をフィーティングパラメーターとして用い方形パルス形状を用いた。図5では、ここでの結果とこの文献の結果が示されている。ここで計算経過はこれらの結果と良く一致している。

【0046】図5において、エチルアルコール中の熱格子により回折された  $700 nm$  の2つのビーム間の過渡

$$I_{1+1;-1}(t) = I(0) \exp \left[ (-t^2 / 2T_0^2) \right] \quad (6)$$

ここで、

$$T_0 = FWHM / 2 (2 \ln 2)^{1/2} \quad (7)$$

FWHMは入力パルスの最大値の半分の値の全幅であ

$$(h c / \lambda) \int_{-a}^a a I_1(t) dt = E_{pulse} \quad (8)$$

ここで  $\lambda$ 、 $h$ 、 $c$ 、 $I$ 、 $E_{pulse}$  は、夫々、波長、プランク定数、光速度、強度 (光子/ $cm^2$ )、パルスフル

$$1 / (2\pi) 1/2 \cdot \int_{-a}^a a \exp(-t^2/2) dt = 1 \quad (9)$$

以下の如くなる (式 (8)、(9) において  $a = \infty$  であ

$$I(0) = [E_{pulse} 2 (2 \ln 2)^{1/2}] / [FWHM (2\pi) 1/2] \cdot \lambda / hc \quad (10)$$

これは光子  $s^{-1} m^{-2}$  の次元を持つ。こうして、例えば、 $1.06 \mu m$  の波長の  $29 ps$  のパルス (FWHM) に対するフルエンス  $10 mJ/cm^2$  は  $1.72 \times 10^{27}$  光子  $s^{-1} cm^{-2}$  の強度に相当する。

【0049】図6は、 $40 ps$  のFWHMと相互に  $80 ps$  遅延を持つ2つの同ピークのガウス分布パルス間の過渡的エネルギー移行の計算結果を示す。両パルスのフルエンスは  $50 mJ/cm^2$  である。GaAs結晶内部の交差ビーム角は  $77^\circ$  であり、これは  $1.06 \mu m$  波長で  $0.85 \mu m$  の周期に相当する。エネルギーはポンプビ

ームからプローブビームへ移行される。図6において、約  $40 ps$  のFWHMを持つガウス分布形のパルスが示され、細い線は、太い線の他方のパルス (ポンプパルス) に対して  $80 ps$  進んだパルス (プローブパルス) を示す。破線はポンプビームからプローブビームへと移行したパワーである。

【0050】パワーロスを最小にしつつ入力パルスの全幅を縮小する為には、パルス遅延、パルスエネルギー比、パルスフルエンスなどのパラメーターを注意深く調整しなければならない。これは、先に述べた様に装置を調整

することで簡単に行なわれる。図6と同じパラメーターを用いて形成された最初のパルス (Pump) と整形後のパルス (Newpump) は図7に示されている。圧縮比は1.25であり、エネルギーは最初のパルスの30%である。ここで圧縮比はTET前と後とのパルス幅の比として定義される。

【0051】図8は、 $50\text{mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$ のフルエンス、1のビーム比、 $1.7\mu\text{m}$ の格子周期、 $1.6\mu\text{m}$ の波長において種々のパルス間遅延に対する出力整形パルスを示す。パラメーターの組はパルス圧縮と最小エネルギーについて最適化されねばならない。種々の遅延に対する過渡的エネルギー移行後のポンプビーム（実線、1点鎖線、破線、点線で示す）が示され、これらのポンプビームは、夫々、2.0、2.3、2.5、1.9 FWHMだけプローブビームに対して遅れている場合のものである。

#### 【0052】

【発明の効果】以上説明した様に、本発明の構成によれば、先ずチャーブの無い短いパルスが得られる。光源としてのパルス発振デバイスからのパルスを用いて、2つの超短パルスの過渡的格子に依る純光学的超高速デバイスが実現される。入力パルスは、普通に入手できるNd:YAGレーザ或はps領域のパルスを発生する他のレーザからのもので良い。短いパルスを達成する為に、高価なパルス圧縮器は必要としない。レーザパルスの短縮の適正化は、ミラーや簡単な光学手段などが使われるのみであるので、ずっと容易で信頼性がある。ファイバは全く含まれないので調整や適正化が行ない易い。デバイスは、サイズが小さく普通の光学部品やGaAsなどを使うのみなので、どの様な光学システムにも組み入れられる。

【0053】更に、パルス間の遅延を自由に設定できるので、パルス伸長やバーニング（2つの新しいパルスが生じる様にパルスの中央部がカットされる）するなど殆どあらゆるパルス整形の為に本デバイスは用いられる。非線型結晶としては、GaAsを使用することに制限されず、同様な効果をもたらす他のどの様な結晶も利用できる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明によるデバイスの例の構造を示す図である。

【図2】GaAsのバンド構造を示す図である。

【図3】過渡的エネルギー移行が起こるGaAs結晶12を拡大して示す図である。

【図4】最初の段階での2つの干渉ビーム42、43の同位相ライン45、及び自己回折による新しい同位相ライン44を示す図である。

【図5】過渡的エネルギー移行前の強いポンプビーム強度により割られた相互作用後の弱いビームの強度の時間依存を示すグラフ図である。

【図6】約40psのFWHMを持つガウス分布型のパルス間のパワー移行を示すグラフ図である。

【図7】図6のポンプビーム（太い線）と図6で示された弱いプローブビームへの過渡的エネルギー移行後の同ビーム（細い線）を示すグラフ図である。

【図8】種々の遅延に対する過渡的エネルギー移行後の図6のポンプビームの形状を示すグラフ図である。

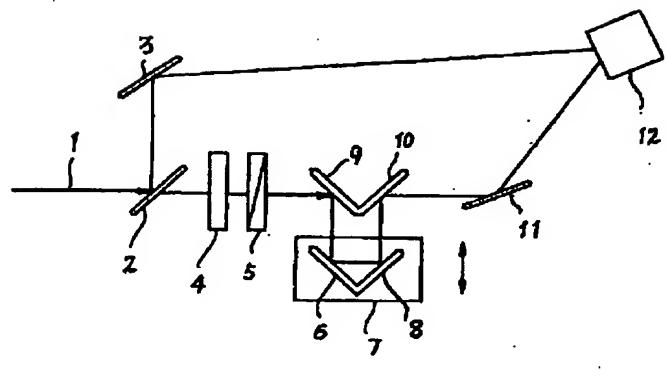
【図9】自己位相変調のみを用いた時の最初のパルス101とチャーブ102～104と圧縮後のパルス105を示すグラフ図である。

【図10】自己位相変調と群速度分散間の相互作用を利用した時のファイバを伝搬した後のパルス201とパルスチャーブ202と圧縮後のパルス203を示すグラフ図である。

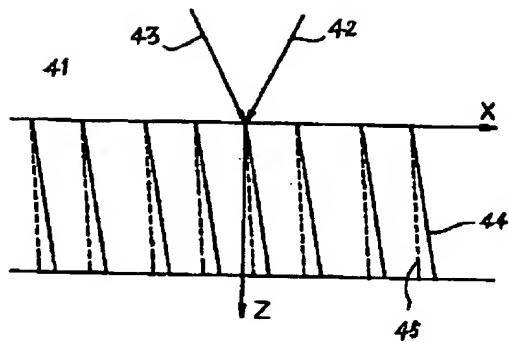
#### 【符号の説明】

1. 26	入射光
2	ビームスプリッタ
—	ミラー
3. 11	半波長板
4	偏光子
5	ミラー
6, 8, 9, 10	可動レトロフレクター
7	GaAs結晶
12	価電子帯
21	キャリア
22, 27	EL2レベル
23	ホール
24	電子
25	励起キャリア
28	伝導帯
29	プローブ光
32	ポンプ光
33	屈折率格子ベクトル
34	干渉パターン
ル	弱まったポンプ光
35	結晶軸
36	空間周期
37	強められたプローブ光
38	干渉ビーム
39	新しい同位相ライ
ブ光	干渉ビームによる
42, 43	圧縮前のビーム
44	チャーブ
ン	圧縮後のビーム
45	
同位相ライン	
101, 201	
102, 103, 104, 202	
105, 203	

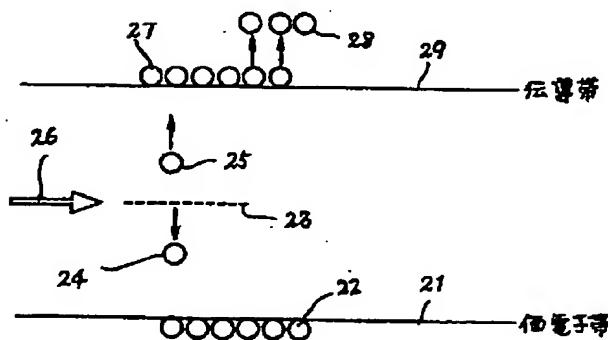
【図 1】



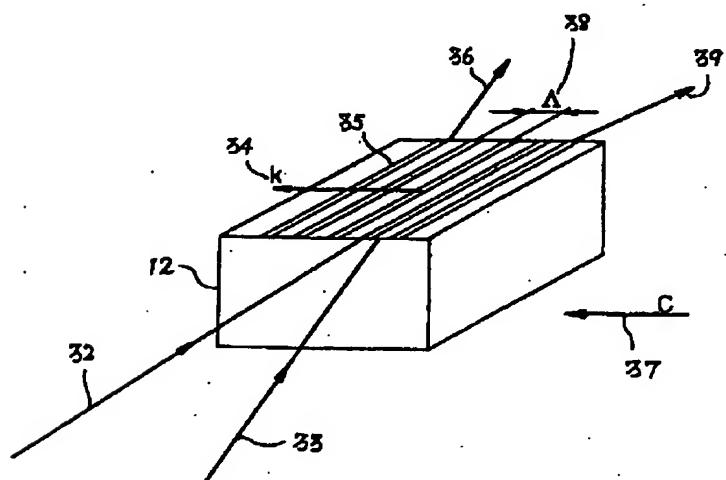
【図 4】



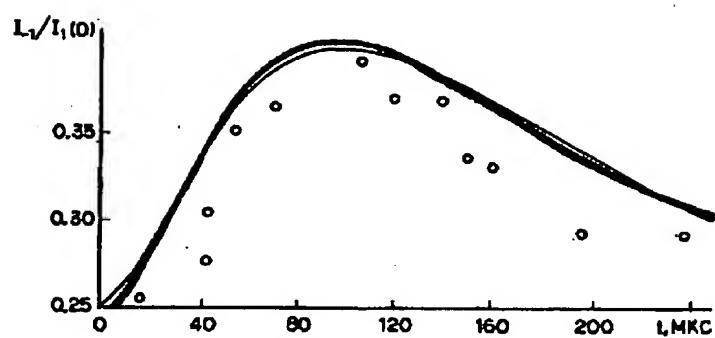
【図 2】



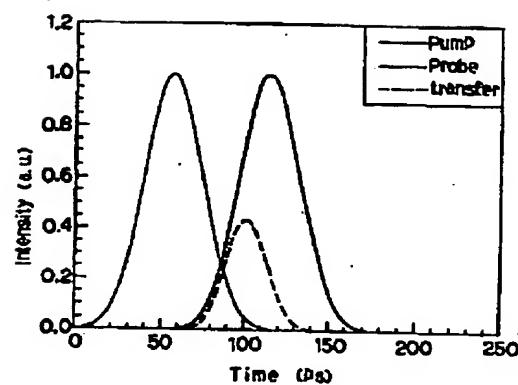
【図 3】



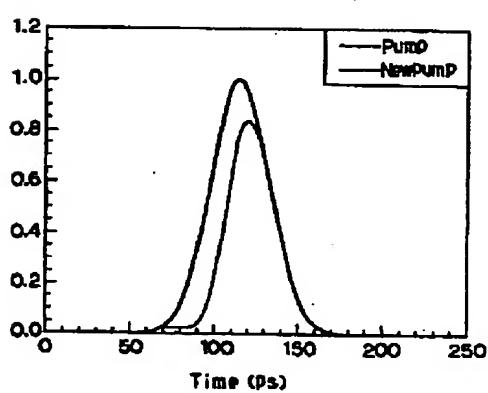
【図 5】



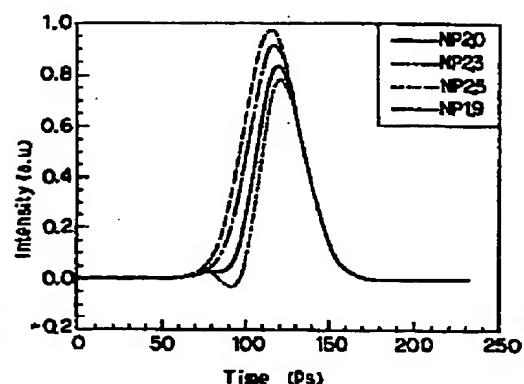
【図 6】



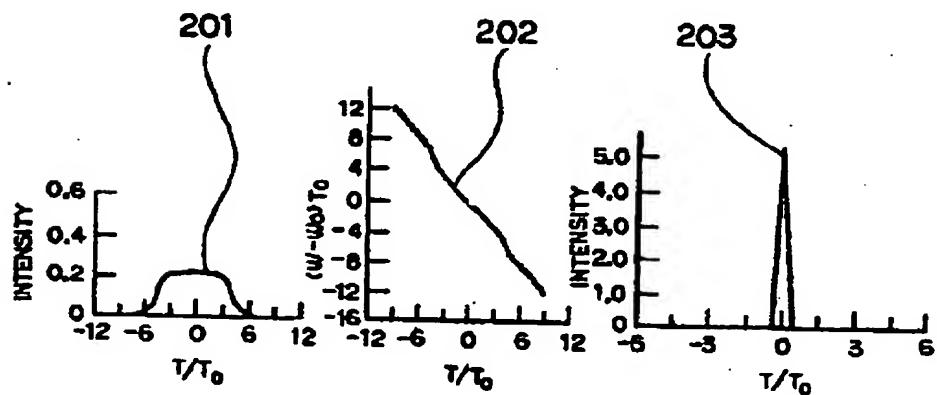
【図 7】



【図 8】



【図 10】



【図9】

